

Braking circuit for commutator motor of power tool - uses energy stored in capacitor during operation of motor to enforce self-excitation with set polarity

Patent number: DE4022637
Publication date: 1992-01-23
Inventor: SCHROECKER RAINER DIPL ING (DE)
Applicant: SCHROECKER RAINER (DE)
Classification:
- **International:** H02P3/06
- **European:** H02P3/06
Application number: DE19904022637 19900717
Priority number(s): DE19904022637 19900717

Abstract of DE4022637

During operation of the motor (1) a storage capacitor (26) is charged by a half-wave rectifier (29) from the mains (9,11). At switch-off a two-pole changeover switch (17,18) connects a braking resistance (32) to the field winding (6) through which the capacitor (26) is discharged.

The braking resistance (32) and diode (33) are shunted by a MOSFET (38) gated on and off by a PWM oscillator (42) whose power supply (54) is drawn from the motor field winding connection (22).

USE/ADVANTAGE - Braking generates no current, and comparatively little electrical energy is converted into heat.

Data supplied from the *esp@cenet* database - Worldwide



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Patentschrift
⑩ DE 40 22 637 C 2

⑤1 Int. Cl.⁸:
H 02 P 3/12
B 25 F 5/00

②1 Aktenzeichen: P 40 22 637.9-32
②2 Anmeldetag: 17. 7. 90
④3 Offenlegungstag: 23. 1. 92
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 18. 7. 96

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦3 Patentinhaber:
Heinrich Kopp AG, 63798 Kahl, DE

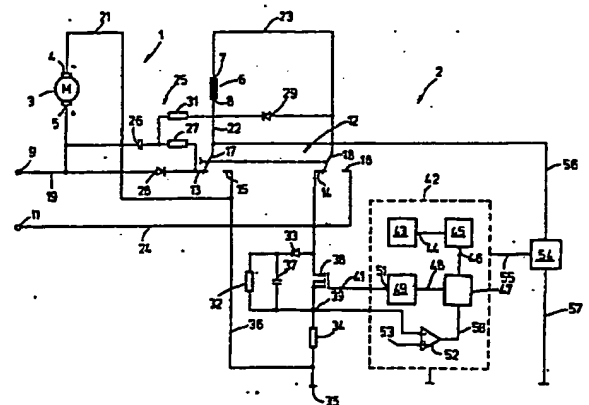
⑦4 Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

⑦2 Erfinder:
Schröcker, Rainer, Dipl.-Ing., 71229 Leonberg, DE

⑥6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 35 39 841 C2
DE 19 31 093 B2
DE 33 24 483 A1
Brown-Boveri Mitteilungen 1-69, S.50-52;
Elektrische Bahnen H.7 (40.Jg.1969) S.152-155, J.
STEINKE: Mehr Leistung durch Entlastung
Industrie-elektrik + elektronik, 1987, Nr. 3, S. 66-67;
SGS-Thomson: Handbuch II Transistoren in der
Leistungselektronik, S. 63;

⑥4 Getaktete Bremsschaltung

⑥7 Schaltungsanordnung (2) zum Bremsen eines dem Antrieb eines handgeführten Elektrogerätes dienenden Kollektormotors (1), der einen Anker (3) sowie eine geteilte oder ungeteilte Feldwicklung (6) aufweist,
— mit einem Umschalter (12), durch den in einer Stellung die Feldwicklung (6) für den Motorbetrieb mit einer Polarität an den Anker (3) anzuschalten ist und durch den in einer anderen Stellung im Bremsbetrieb eine Serienschaltung erzeugt wird, die wenigstens den Anker (3) und zumindest einen Teil der Feldwicklung (6) einhält, der mit der anderen Polarität an den Anker (3) angeschlossen ist als im Motorbetrieb,
— mit einem Stellglied (38'),
— mit einer Steuerschaltung (42) für das Stellglied (38'), die wenigstens in einem Zeitintervall während des Bremsbetriebes ein impulsförmiges Signal an das Stellglied (38') abgibt, das durch das Signal ständig zwischen den Zuständen Leiten und Sperren hin- und hergeschaltet wird,
— sowie mit einer Speicherschaltung (25), die nach dem Umschalten des Umschalters (12) in den Bremsbetrieb eine Selbsterregung des als Generator arbeitenden Kollektormotors (1) einleitet,
wobei der Stromzweig mit dem Stellglied (38') zusätzlich einen zu dem Stellglied (38') in Serie geschalteten ohmschen Bremswiderstand (32) enthält und diesem Stromzweig ein Kondensator (37) parallelgeschaltet ist.



DE 40 22 637 C 2

DE 40 22 637 C 2

Beschreibung

Aus der DE 35 39 841 C2 ist eine Schaltungsanordnung zum netzunabhängigen Bremsen des Antriebsmotors von Elektrowerkzeugen bekannt. Bei dieser Schaltungsanordnung besteht im Bremsbetrieb eine Serienschaltung, die den Anker, einen Teil der Feldwicklung, das Stellglied sowie einen Stromfühler enthält. Das Stellglied ist mit einer Steuerschaltung verbunden, die aus der vom Motor abgegebenen EMK mit Strom versorgt wird. Die Steuerschaltung steuert das Stellglied in der Weise, daß der im Kreis fließende Bremsstrom konstant gehalten wird. Das Stellglied arbeitet dabei als veränderlicher Widerstand, so daß praktisch die gesamte Bremsleistung an dem Stellglied in Wärme umgesetzt wird.

Das Stellglied, das von einem MOS-FET oder einem anderen geeigneten Leistungstransistor gebildet ist, muß dementsprechend mit einer guten Kühleinrichtung und einem großen Kühlkörper versehen werden, um die beim Bremsen auftretende und an ihm anfallende Verlustleistung schadlos auszuhalten. Das Stellglied muß deswegen auch im Kühlluftstrom des Universalmotors angeordnet werden und kann folglich auch nicht im Griff von Elektrowerkzeugen untergebracht werden.

Schließlich kommt hinzu, daß die Oberflächentemperatur des Halbleiters nur so hoch werden kann, daß die maximal zulässige Sperrschichttemperatur nicht überschritten wird. Dies bedeutet in aller Regel verhältnismäßig niedrige Gehäusetemperaturen an dem Stellglied.

Dafür hat andererseits die Schaltung den wesentlichen Vorteil, daß sie mit einer verhältnismäßig hohen Spannung an dem Stellglied arbeitet, was umgekehrt bedeutet, daß bei gegebener Bremsleistung der Strom durch das Stellglied, das als Bremswiderstand dient, verhältnismäßig klein ist, d. h. in einer Größenordnung liegt, die etwa dem Strom entspricht, den der Motor bei seiner Nennleistung aus dem Netz entnimmt. Der Kollektor des Universalmotors wird dadurch im Bremsbetrieb nicht stärker als im normalen Motorbetrieb belastet, so daß ein häufiges Bremsen zu keiner nennenswerten Lebensdauerverkürzung des Kollektors beiträgt.

Die DE 19 31 093 B1 zeigt eine Schaltung zur Impulssteuerung eines Kollektormotors, bei dem der Anker die Wendepolwicklung und ein fester Bremswiderstand einen geschlossenen Stromkreis bilden. Parallel zu dem Bremswiderstand liegt die Serienschaltung aus einem gesteuerten Halbleiter und der Feldwicklung, die über eine Freilaufdiode geschuntet ist.

Aus der Zeitschrift "Elektrische Bahnen", Heft 7, Seite 152, ist eine Schaltungsanordnung zum elektrischen Bremsen einer Lokomotive beschrieben. Entsprechend der angegebenen Schaltung wird der Motor als Hauptschlußgenerator betrieben, in dessen Stromkreis eine Parallelschaltung aus einem Gleichstromsteller und einem Widerstand liegt. Der Gleichstromsteller wird periodisch ein- und ausgeschaltet, wodurch der im Erregerkreis liegende Bremswiderstand periodisch kurzgeschlossen wird. Im Kurzschlußfall soll der Erregerstrom ansteigen, während er bei abgeschaltetem Gleichstromsteller allmählich wieder sinkt. Damit ein stabiler Betrieb zustandekommt, muß die Stromzunahme bei kurzgeschlossenem Bremswiderstand gleich der Stromabnahme bei ausgeschaltetem Gleichstromsteller sein.

Die gegebene Schaltungsbeschreibung geht dabei davon aus, daß der Anker als quasi ideale Gleichspannungsquelle wirkt. Diese Annahme trifft aber nur für

Motoren großer Leistung zu, wie sie zum Antrieb von Verkehrsmitteln verwendet werden. Große Motoren haben eine wesentlich höhere Polpaarzahl und zeigen deswegen praktisch keine Polfühligkeit, die sich im Generatorbetrieb in Schwankungen der Klemmenspannung des Motors äußert. Außerdem haben Motoren dieser Leistung einen anderen Innenwiderstand als kleine Universalmotoren, die beispielsweise zum Antrieb von handgeführten Elektrowerkzeugen eingesetzt werden.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Schaltungsanordnung zum Bremsen eines Kollektormotors kleiner und mittlerer Leistung zu schaffen, die im Bremsbetrieb keinen Strom erzeugt, der nennenswert über dem Strom im Motorbetrieb bei Nennleistung liegt und bei der das Stellglied im Bremsbetrieb nur eine vergleichsweise kleine elektrische Leistung in Wärme umzusetzen braucht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Schaltungsanordnung mit den Merkmalen des Anspruchs 1 oder 2 gelöst.

Infolge der Entkopplung von Erregung und Strom durch den Bremswiderstand ist es möglich, das Stellglied, ohne daß die Selbsterregung zusammenbricht, getaktet zu betreiben. Andererseits gestattet die Entkopplung einen Bremsstrom, der auch bei durchgeschaltetem Stellglied praktisch dieselbe Größe hat wie bei gesperrtem Stellglied. Dadurch fließt unabhängig vom Schaltzustand des Stellgliedes durch den Anker und die Feldwicklung ein Bremsstrom, der nur eine sehr geringe Welligkeit aufweist, was umgekehrt dazu führt, daß — abgesehen von Nichtlinearitäten und Innenwiderständen des Ankers und der Feldwicklung — die Anker-EMK linear proportional mit der Drehzahl fällt, was zu einer günstigen Bremscharakteristik führt.

Bei der neuen Schaltung wird die Bremsleistung im wesentlichen in einem ohmschen Widerstand in Wärme umgesetzt, der ohne weiteres thermisch wesentlich höher belastbar ist als ein Halbleiter, d. h. die Gehäuse- oder Oberflächentemperaturen des ohm'schen Widerstandes können ohne Gefahr für seine Funktionsfähigkeit wesentlich höher liegen als bei einem Halbleiter. Entsprechend kleinere Kühlflächen sind für den ohmschen Widerstand erforderlich, bzw. er kann gegebenenfalls außerhalb des Kühlluftstromes angeordnet werden. In dem Stellglied wird praktisch keine Leistung mehr umgesetzt, weshalb es gefahrlos auch an Stellen innerhalb der Einrichtung, in der der Universalmotor untergebracht ist, angeordnet werden kann, die nur mäßig gekühlt werden können.

Der ohmsche Bremswiderstand kann entweder parallel zu dem Kondensator angeordnet werden, wobei dann die Parallelschaltung aus dem Kondensator und dem Widerstand über eine Freilaufdiode zu dem Stellglied parallel liegt, oder der Bremswiderstand liegt in Serie zu dem Stellglied, wobei die Serienschaltung zu dem Kondensator parallel geschaltet ist. Im ersteren Falle erfolgt die Umsetzung der mechanischen Leistung in Wärmeenergie in dem Bremswiderstand unabhängig vom Schaltzustand des Stellgliedes, während im anderen Fall die Umsetzung der im Motor gespeicherten Energie in Wärmeenergie lediglich bei eingeschaltetem Stellglied erfolgt.

Als Stellglied kommen praktisch sämtliche steuerbaren Halbleiter, wie MOS-FET, bipolare Transistoren, GTO, IGBT usw. in Frage, soweit sie in der Lage sind, wahlweise ein- und ausgeschaltet zu werden. Das Steuersignal ist im weitesten Sinne ein pulsdauer- oder puls-

weitenmoduliertes Signal.

Eine sehr einfache Steuerschaltung enthält ein Flip-Flop, das durch einen Oszillator in den einen Zustand gebracht wird und das, sobald der Bremsstrom einen vorgegebenen Wert überschreitet, in den anderen Zustand gekippt wird. Am Ausgang gibt dieses Flip-Flop ein pulswidenmoduliertes Signal konstanter Periodendauer ab. Mit dieser Schaltung ist es möglich, das Stellglied jeweils auszuschalten, wenn der Bremsstrom eine vorgegebene Schranke überschreitet.

Günstige Verhältnisse ergeben sich, wenn die Taktfrequenz des Oszillators zwischen 0,5 und 20 kHz liegt.

Ein zusätzlicher Bremswiderstand läßt sich bei Universalmotoren mittlerer Leistung einsparen, wenn der bei diesen Universalmotoren zur Anlaufstrombegrenzung vorhandene Vorwiderstand gleichzeitig im Bremsbetrieb verwendet wird.

Im übrigen sind Weiterbildungen der Erfindung Gegenstand von Unteransprüchen.

In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele des Gegenstandes der Erfindung dargestellt. Es zeigen

Fig. 1 eine Schaltungsanordnung zum Bremsen eines Universalmotors, wobei der Bremswiderstand zu dem Kondensator parallelgeschaltet ist,

Fig. 2 eine Schaltungsanordnung zum Bremsen eines Universalmotors, bei der der Bremswiderstand in Serie mit dem Stellglied liegt,

Fig. 3 eine Schaltungsanordnung ähnlich der nach Fig. 2, wobei als Bremswiderstand der Vorwiderstand zur Anlaufstrombegrenzung verwendet wird,

Fig. 4 ein detailliertes Schaltbild der Steuerschaltung aus den Schaltungsanordnungen nach den Fig. 1 bis 3 und

Fig. 5 das Schaltbild einer Stromversorgungsschaltung zur Erzeugung der Versorgungsspannung für die Schaltung nach Fig. 4.

Fig. 1 zeigt einen Kollektormotor 1 (Universalmotor), an den eine Schaltungsanordnung 2 zum netzunabhängigen elektrischen Bremsen angeschlossen ist. Der Universalmotor 1 weist einen Anker 3 mit zwei Kollektoranschlüssen 4, 5 sowie eine Feldwicklung 6 mit Anschlüssen 7 und 8 auf. Die veranschaulichte Feldwicklung 6 kann entweder die gesamte Feldwicklung des Universalmotors 1 sein oder nur ein Teil, und zwar derjenige Teil, der bei der Umschaltung vom Motor- in dem Generatorbetrieb verwendet wird. Wie sich aus der nachfolgenden Beschreibung weiter unten ergibt, ist es beim Bremsen sowohl möglich, die gesamte Feldwicklung als auch nur einen Teil davon zu verwenden.

Im Motorbetrieb bezieht der Universalmotor 1 seinen Strom über zwei Netzanschlußklemmen 9 und 11 sowie einen zweipoligen Umschalter 12, der zwei Ruhekontakte 13 und 14, zwei Arbeitskontakte 15 und 16 sowie zwei bewegliche Kontakte 17 und 18 aufweist.

Die Netzanschlußklemme 9 ist über eine Leitung 19 mit dem Kollektoranschluß 5 des Ankers 3 verbunden. Von dem Kollektoranschluß 4 führt eine Leitung 21 zu dem Arbeitskontakt 15, und es ist der bewegliche Kontakt 17 über eine Leitung 22 an den Anschluß 8 der Feldwicklung 6 angeschlossen. Der andere Anschluß 7 der Feldwicklung 6 liegt mit Hilfe einer Leitung 23 an dem beweglichen Kontakt 18 des Umschalters 12, dessen Arbeitskontakt 16 schließlich über eine Leitung 24 mit der anderen Netzanschlußklemme 11 verbunden ist.

Wenn der zweipolige Umschalter 12 aus der in Fig. 1 gezeigten Ruhstellung in die Arbeitsstellung überführt wird, werden die beiden Netzanschlußklemmen 9 und 11 elektrisch mit dem als Hauptschlußmotor geschalte-

ten Universalmotor 1 verbunden, um diesen in Gang zu setzen.

In der gezeigten Ruhstellung dagegen ist die Schaltungsanordnung 2 (Bremserschaltung) mit dem Universalmotor 1 verbunden. Die Bremserschaltung 2 enthält eine Speicherschaltung 25, um nach dem Abschalten des Motorbetriebs dafür zu sorgen, daß eine Selbsterregung mit der richtigen Polarität entsteht, selbst dann, wenn der Restmagnetismus in der Feldwicklung 6 für eine Selbsterregung nicht mehr ausreichen sollte oder eine falsche Polarität aufweist. Die Speicherschaltung 25 weist als elektrischen Speicher 26 einen Speicherkondensator auf, der einenends unmittelbar mit dem Kollektoranschluß 5 des Ankers 3 verbunden ist und der anderenends über einen Vorwiderstand 27 mit dem Ruhekontakt 13 verbunden ist. Parallel zu der Serienschaltung aus dem Kondensator 26 und dem Vorwiderstand 27 liegt eine Diode 28, die in später noch beschriebener Weise nach der Einleitung der Selbsterregung den Strom übernimmt.

Um den Speicherkondensator 26 aufzuladen, ist eine Diode 29 vorhanden, deren Anode an der Leitung 23 liegt und deren Kathode über einen Strombegrenzungswiderstand 31 mit der Verbindungsstelle zwischen dem Speicherkondensator 26 und dem Vorwiderstand 27 in Verbindung steht.

Die kinetische Energie des Ankers 3 wird beim elektrischen Bremsen von einem Bremswiderstand 32 in Wärme umgesetzt. Der Bremswiderstand 32 ist einenends mit der Kathode einer Diode 33 verbunden, die anodenseitig an dem Ruhekontakt 14 angeschlossen ist. Das andere Ende des Bremswiderstandes 32 führt zu einem Widerstand, der als Stromfühler 34 für den Bremsstrom dient. Der Stromfühlerwiderstand 34 ist mit seinem nicht mit dem Bremswiderstand 32 verbundenen Anschluß mit einer Schaltungsmasse 35 verbunden, an die auch der Ruhekontakt 15 des zweipoligen Umschalters 12 angeschlossen ist, und zwar über eine Leitung 36.

Unmittelbar parallel zu dem Bremswiderstand 32 liegt ein Kondensator 37, während abgetrennt über die Diode 33 zu dem Kondensator 37 ein Stellglied 38 (MOS-FET) parallelgeschaltet ist, d. h. aus der Sicht des Kondensators 37 bilden die Diode 33 und der MOS-FET 38 eine Serienschaltung, bei der der MOS-FET 38 mit seiner Drainelektrode an der Anode der Diode 33 bzw. dem Ruhekontakt 14 angeschaltet ist, während die Sourcelektrode des MOS-FET 38 an einem Knoten 39 liegt, an dem sowohl der Bremswiderstand 32 als auch der Kondensator 37 als auch der Stromfühlerwiderstand 34 angeschlossen sind.

Der MOS-FET 38 dient als Stellglied und wird alternierend ein- und ausgeschaltet. Zu diesem Zweck ist seine Gatelektrode über eine Leitung 41 mit einer pulsbreitenmodulierten Steuerschaltung 42 verbunden. Die pulsbreitenmodulierte Steuerschaltung 42 enthält einen Oszillator 43, der an seinem Ausgang 44 ein Rechtecksignal mit einer festen Frequenz abgibt. Das Rechtecksignal gelangt von dem Ausgang 44 in einen Differenzierer 45, der mit seinem Ausgang 46 an eine digitale Speicherschaltung 47 (Flipflop) mit einem invertierten Setzeingang S, einem invertierten Rücksetzeingang R und einem invertierten Ausgang Q angeschlossen ist, und zwar liegt der Ausgang 46 an dem invertierten Setzeingang. Von dem invertierten Ausgang Q des Flipflops 47 führt eine Leitung 48 zu einem Treiber 49, zu dessen Ausgang 51 die Leitung 41 führt. Der Treiber 49 hat lediglich die Aufgabe, genügend Strom zu liefern, um

den MOS-FET 48 schnell zwischen seinen beiden Zuständen hin- und herschalten zu können.

Der pulsbreitenmodulierte Oszillator 42 enthält ferner einen Komparator 52, dessen invertierender Eingang an dem Knoten 39 liegt und dessen nichtinvertierender Eingang mit einer Referenzspannung 53 beaufschlagt wird, die so groß ist wie der Spannungsabfall an dem Stromfühlerwiderstand 34 bei dem jeweils gewünschten Bremsstrom. Ausgangsseitig ist der Komparator 52 über eine Leitung 58 mit dem Rücksetzeingang R des Flipflops 47 verbunden.

Die Stromversorgung der pulsbreitenmodulierten Steuerschaltung 42 geschieht mit Hilfe einer Spannungsversorgungsschaltung 54, deren Ausgangsleitung durch eine Leitung 55 schematisch dargestellt ist. Den notwendigen Strom bezieht die Spannungsversorgungsschaltung 54 über eine Leitung 56, mit der sie zu der Leitung 22 hin verbunden ist. Schließlich ist die Spannungsversorgungsschaltung 54 über eine Leitung 57 an die Schaltungsmasse 35 angeschlossen.

Die Wirkungsweise der insoweit beschriebenen Anordnung ist wie folgt: Wenn der Universalmotor 1 in Betrieb gesetzt werden soll, um an seiner Ankerwelle mechanische Nutzleistung abzugeben, wird der zweipolige Umschalter 12 aus der in Fig. 1 gezeigten Ruhestellung in die Arbeitsstellung überführt, in der der Arbeitskontakt 15 mit dem beweglichen Kontakt 17 und der Arbeitskontakt 16 mit dem beweglichen Kontakt 18 in Verbindung steht. In dieser Stellung des zweipoligen Umschalters 12 fließt der an den Netzanschlußklemmen 9 und 11 eingespeiste Wechselstrom über die Leitung 24, den zweipoligen Umschalter 12, die Leitung 23 zu der Feldwicklung 6 und von dort wiederum über den zweipoligen Umschalter 12 zu dem Anker 3 über die Leitung 21. Dabei ist im Motorbetrieb der Anschluß 8 der Feldwicklung 6 mit dem Kollektoranschluß 4 des Ankers 3 verbunden. Von dem Anker 3 fließt schließlich der Strom über die Leitung 19 zu der Netzanschlußklemme 9 zurück.

Gleichzeitig wird während des Motorbetriebes bei der entsprechenden Halbwelle der an den Netzanschlußklemmen 9 und 11 liegenden Netzspannung über die Diode 29 und den Strombegrenzungswiderstand 31 der Kondensator 26 aufgeladen, da die Serienschaltung aus den erwähnten Bauelementen zu dem Motor elektrisch parallelgeschaltet ist. Bei der gezeigten Polarität der Diode 29 erfolgt die Ladung in der Weise, daß die an dem Kollektoranschluß 5 des Ankers 3 liegende Elektrode des Kondensators 26 negativ gegenüber jener Elektrode aufgeladen wird, die mit den beiden Widerständen 27 und 31 in Verbindung steht.

Wenn nun der Motorbetrieb durch Umschalten des zweipoligen Umschalters 12 in die in Fig. 1 gezeigte Ruhestellung beendet wird, wird zunächst einmal die Stromversorgung aus den Netzanschlußklemmen 9 und 11 unterbrochen. Gleichzeitig wird eine Serienschaltung hergestellt, die den Anker 3, die Feldwicklung 6 sowie den Bremswiderstand 32 enthält, wobei die Polarität, mit der die Feldwicklung 6 mit dem Anker 3 in Verbindung steht, gewechselt hat. Während im Motorbetrieb der Kollektoranschluß 4 des Ankers 3 mit dem Anschluß 8 der Feldwicklung unmittelbar verbunden war, ist im Bremsbetrieb der Kollektoranschluß 5 des Ankers 3 über die Diode 28 sowie die Leitung 22 mit dem Anschluß 8 der Feldwicklung 6 verknüpft. Zu der Diode 28 liegt die Serienschaltung aus dem Speicherkondensator 26 und dem Vorwiderstand 27 parallel, und der Speicherkondensator 26 kann sich über den Vorwiderstand

27 entladen, wobei der Entladestrom von dem Vorwiderstand 27 über den geschlossenen Schalterkontakt 13, 17 sowie die Leitung 22 zu der Feldwicklung 6 fließt. Von der Feldwicklung 6 fließt der Entladestrom über die Leitung 23, den Schalterkontakt 14, 18, die Diode 33, die Parallelschaltung aus dem Bremswiderstand 32 sowie dem Kondensator 37 und den Stromfühlerwiderstand 34 zu der Schaltungsmasse 35. Von dort gelangt der Entladestrom über die Leitung 36, die Leitung 21 zu dem Anker 3, der mit seinem Kollektoranschluß 5 mit dem Speicherkondensator 26 in Verbindung steht. Es wird auf diese Weise in der Feldwicklung 6 ein Erregerstrom erzeugt, der durch die Entladung des Kondensators 26 hervorgerufen wird. Da der Kondensator 26 jedes Mal im Motorbetrieb über die Diode 29 mit derselben Polarität aufgeladen wird, fließt auch der Entladestrom durch die Feldwicklung 6 jedes Mal im Bremsbetrieb in derselben Richtung, d. h. der Universalmotor 1 wird jedes Mal beim Abschalten des Motorbetriebes und dem Umschalten in den Generatorbetrieb mit derselben Polarität erregt. Infolge der Entladung des Kondensators 26 gibt der Anker 3 eine Generatorspannung ab, deren Polarität, wie in Fig 1 gezeigt, ist.

Infolge des durch die Feldwicklung 6 fließenden Stroms erzeugt der Anker 3 eine Generatorspannung, die in der angeschlossenen Schaltung zu einem Strom führt, der dieselbe Richtung hat wie der Entladestrom des Kondensators 26, d. h. der Strom fließt aus dem Kollektoranschluß 5 des Ankers 3 in die angeschlossene Schaltung. Der von der Anker-EMK hervorgerufene Strom fließt nun über die Diode 28 und ansonsten auf demselben Weg wie vorher der Entladestrom des Kondensators 26. Hierdurch entsteht eine Selbsterregung des nun als Generator arbeitenden Universalmotors 1.

Der dabei in dem Kreis fließende Erreger- oder Bremsstrom erzeugt an dem Stromfühlerwiderstand 34 einen Spannungsabfall und läßt außerdem auf der Leitung 22 eine Spannung gegenüber der Schaltungsmasse 35 entstehen. Hierdurch wird über die Leitung 56 Spannung an die Spannungsversorgungsschaltung 54 angelegt, die eine entsprechend stabilisierte Spannung über die Leitung 55 in die pulsbreitenmodulierte Steuerschaltung 42 einspeist, die nun zu arbeiten beginnt. Während des Motorbetriebes war die Leitung 56 ebenfalls mit der Schaltungsmasse 35 verbunden und deswegen die Steuerschaltung 42 abgeschaltet. Sobald eine genügend hohe Spannung an der Leitung 22 anliegt, wird auch die Steuerschaltung 42 zu arbeiten beginnen. Der in ihr vorhandene Oszillator 43 mit fester Frequenz beginnt zu schwingen, und zwar mit der eingestellten Arbeitsfrequenz, die zwischen 0,5 und 20 kHz liegen kann. Dies bedeutet, daß nach längstens 2 msec seit dem Anschwingen des Oszillators 43 der Differenzierer 45 einen nach "Low" gehenden Impuls an seinem Ausgang 46 abgibt, der das Flipflop 47 in den Zustand "Low" an dem Ausgang Q umschaltet. Das Ausgangssignal des Flipflops 47 wird in dem Treiber 49 verstärkt und invertiert. Dementsprechend ist die Spannung an dem Ausgang 51 und damit auf der Leitung 41 "High", was wiederum den MOS-FET 38, der vom Anreicherungstyp ist, in den niederohmigen Zustand überführt und im niederohmigen Zustand hält. Der von dem Anker 3 hervorgerufene Bremsstrom kann nunmehr über den MOS-FET 38 zu dem Stromfühlerwiderstand 34 fließen. Dadurch entsteht ein Bypass zu dem Bremswiderstand 32 und es verringert sich der im Erregerstromkreis liegende Widerstand, was den Strom in dem Erregerstromkreis, der gleichzeitig auch der Bremsstrom ist, ansteigen läßt.

Wenn der Bremsstrom bzw. der Erregerstrom ein Maß erreicht, bei dem der Spannungsabfall an dem Stromfühlerwiderstand 34 größer wird als die Referenzspannung 53, wechselt das Signal an dem Ausgang des Komparators 52 von "High" nach "Low", wodurch das Flipflop 47 über die Leitung 58 umgeschaltet wird, und zwar in den Zustand \bar{Q} = "High". Hierdurch wird über den Treiber 49 an dem Gate des MOS-FET 38 eine niedrige Spannung angelegt, die den MOS-FET 38 aus dem eben noch niederohmigen Zustand schlagartig in den hochohmigen Zustand bringt. Der dazu notwendige, verhältnismäßig hohe Gatestrom wird von dem Treiber 49 erzeugt. Das Abschalten des MOS-FET 38 hat zumindest in der Induktivität der Feldwicklung 6 eine Induktionsspannung zur Folge, die dazu führt, daß über die Diode 33 der Kondensator 37 aufgeladen wird. Gleichzeitig fließt, obwohl der MOS-FET 38 sperrt, weiterhin ein Bremsstrom in dem Erregerkreis und über den Stromfühlerwiderstand 34. Da der Bremswiderstand 32 zu dem Kondensator 37 parallelliegt, wird sowohl bei durchgeschaltetem MOS-FET 38 als auch bei gesperrtem MOS-FET 38 in dem Bremswiderstand 32 immer elektrische Energie in Wärme umgesetzt.

Infolge des nun gesperrten MOS-FET 38 beginnt der Strom durch den Universalmotor 1 wegen des nun höheren Widerstandes in der Serienschaltung aus dem Anker 3 der Feldwicklung 6 sowie den übrigen Bauelementen wieder zu sinken.

Nach einer Zeitverzögerung, die durch die Frequenz des Oszillators 43 festgelegt ist, wird das Flipflop 47 umgesteuert und entsprechend der MOS-FET 38 wieder in den niederohmigen Zustand zurückgeschaltet. Der Bremsstrom, der durch den Universalmotor 1 fließt, wird wegen des jetzt wieder kleineren Kreiswiderstandes ansteigen, bis er einen Wert erreicht hat, bei dem der Spannungsabfall an dem Stromfühlerwiderstand 34 die Referenzspannung 53 übersteigt, was dann wiederum in der oben geschilderten Weise zum Umschalten des MOS-FET 38 in den gesperrten Zustand führt.

Wegen der Diode 33 kann der Kondensator 37 bei durchgeschaltetem MOS-FET 38 nicht über den MOS-FET 38 entladen werden. Vielmehr erfolgt die Entladung über den Bremswiderstand 32.

Wie ohne weiteres einzusehen ist, erzeugt die pulsbreitenmodulierte Steuerschaltung 42 an ihrem Ausgang 51 ein Impulssignal, dessen Periodendauer von dem Oszillator 43 festgelegt ist, wobei die Einschaltdauer abhängig von der Zeit ist, die benötigt wird, um den Bremsstrom bzw. den Erregerstrom durch den Stromfühlerwiderstand 34 erneut auf einen Wert über der Referenzspannung 53 zu bringen. Dies wird bei hohen Drehzahlen des Ankers 3, also zu Beginn der Bremsung schneller gehen als gegen Ende der Bremsung, wenn die Drehzahl des Ankers 3 deutlich abgesunken ist. Während der ganzen Bremszeit wird das pulsbreitenmodulierte Signal erzeugt, und zwar solange, bis die Drehzahl des Ankers 3 so weit abgesunken ist, daß die auf der Leitung 22 anstehende Spannung nicht mehr ausreicht, um die pulsbreitenmodulierte Steuerschaltung 42 in Betrieb zu halten. Dies geschieht allerdings bei so niedrigen Drehzahlen, daß die Lagerreibung des Universalmotors 1 dann ausreicht, um in kurzer Zeit den Rest der kinetischen Energie des Ankers 3 aufzuzehren.

Der Strom durch den Stromfühlerwiderstand 34 und damit der Strom durch die Feldwicklung 6 sowie den Anker 3 wird praktisch konstant gehalten, da die pulsbreitenmodulierte Steuerschaltung 42 immer dann den MOS-FET 38 wieder sperrt, wenn der Bremsstrom ein

vorgegebenes Maß überschreitet. Die Welligkeit des Bremsstromes ist bei den erwähnten Schaltfrequenzen zwischen 0,5 und 20 kHz sehr klein und bewegt sich bei ca. 10% des Bremsstromes. Infolgedessen ist auch die Erregung der Feldwicklung 6 nahezu konstant und die Klemmenspannung an dem Anker 6, d. h. die Spannung an den beiden Kollektoranschlüssen 4 und 5 nimmt linear proportional mit der Drehzahl ab. Als Grenzbedingungen für die Frequenz des Oszillators 43 gilt, daß sie einerseits hoch genug ist, um den MOS-FET 38 wieder einzuschalten, ehe die Selbsterregung, d. h. der Erregerstrom durch den Kondensator 37 auf Werte abgesunken ist, die eine Selbsterregung nicht mehr erhalten können, andererseits aber nur so hoch ist, daß der MOS-FET 38 einwandfrei schalten kann bzw. die Schaltverluste in dem MOS-FET 38 in vernünftigen Grenzen bleiben, um die Bremsleistung wirklich in dem Widerstand 32 umzusetzen. Außerdem muß die Welligkeit ausreichend hoch sein, um den Komparator 52 aussteuern zu können.

Wie ferner zu erkennen ist, wird in dem MOS-FET 38 Leistung nur während des Umschaltvorganges und in niederohmigem Zustand umgesetzt. Die Bremsleistung wird überwiegend in dem Bremswiderstand 32 vernichtet.

Die Spannung an dem Kondensator 37 stellt sich nach einer Gleichgewichtsbedingung ein, nämlich entsprechend der Entladung des Kondensators 37 über den Bremswiderstand 32 während der Einschaltphase des MOS-FET 38 und der Nachladung des Kondensators 37 über die Diode 33 beim Abschalten des MOS-FET 38 infolge der magnetischen Energie, die in der Feldwicklung 6 während des Einschaltens des MOS-FET 38 gespeichert wird.

Ist der Bremswiderstand 32 so klein dimensioniert, daß auch beim Beginn der Bremsung, also unmittelbar nach dem Umschalten des zweipoligen Umschalters 12, ein Strom in dem Stromfühlerwiderstand 34 fließt, der einen Spannungsabfall größer als die Referenzspannung 53 zur Folge hat, bleibt zunächst der MOS-FET 38 gesperrt, solange, bis der Strom unter den Referenzwert abgesunken ist, weil die Impulse auf dem Differenzierer 45 das Flipflop 47 nicht umschalten können. In diesem Fall wird die Spannung an dem Kondensator 37 gleich dem Spannungsabfall an dem Bremswiderstand 32 sein. Im späteren Bremsverlauf stellt sich an dem Kondensator 37 keine höhere Spannung mehr ein.

Wenn umgekehrt zu Beginn der Bremsung der Strom durch den Stromfühlerwiderstand 34 zu niedrig ist, also der Bremsstrom nicht erreicht wird, wird durch Takten des MOS-FET 38 der Bremsstrom angehoben, was gleichzeitig zum Aufladen des Kondensators 37 auf eine entsprechend höhere Spannung als im ersten Fall führt.

Fig. 2 zeigt ein abgewandeltes Ausführungsbeispiel, das sich im wesentlichen an zwei Stellen von der Anordnung nach Fig. 1 unterscheidet. Anstelle des MOS-FET 38 ist bei der Schaltung nach Fig. 2 ein IGBT als Stellglied 38' verwendet. Außerdem liegt der Bremswiderstand 32 nicht parallel zu dem Kondensator 37, sondern in Serie zu dem Stellglied in Gestalt des IGBT 38'.

Ansonsten ist die Schaltung identisch wie Fig. 1 aufgebaut, weshalb auch dieselben Bezugszeichen verwendet sind und die zugehörigen Bauelemente nicht mehr gesondert beschrieben werden müssen.

Was die Schaltung anbelangt, so arbeitet sie im Motorbetrieb genauso wie die Schaltung nach Fig. 1, lediglich im Bremsbetrieb bestehen geringe Unterschiede insofern, als bei der Selbsterregung zunächst einmal der

Kondensator 37 aufgeladen wird und der Oszillator 43 so schnell anschwingen muß, daß er umgehend den IGBT 38' in den leitenden Zustand überführt, damit nicht vorher die Selbsterregung zusammenbricht, weil die Spannung an dem Kondensator 37 so groß wie die EMK des Ankers 3 geworden ist. Wenn diese Bedingung eingehalten wird, steigt der Strom durch den Bremswiderstand 32 solange an, bis der Spannungsabfall an dem Stromfühlerwiderstand 34 die Referenzspannung 53 übersteigt. Hierdurch wird, wie vorher beschrieben, der IGBT 38' abgeschaltet, während der Kondensator 37 weiter aufgeladen wird. Gleichzeitig sinkt der Bremsstrom wieder unter den Referenzwert allmählich ab, so daß beim nachfolgenden erneuten Einschalten des IGBT 38' zunächst einmal der Kondensator 37 über den Bremswiderstand 32 sowie den durchgeschalteten IGBT 38' entladen wird und andererseits aber der Bremsstrom, der an dem Stromfühlerwiderstand 34 gemessen wird und unter dem Nennwert liegt, erneut durch den IGBT 38' fließt. Durch Einschalten des IGBT 38' beginnt der Bremsstrom wieder zu steigen.

Ein Vorteil der Schaltung nach Fig. 2 besteht darin, daß die Diode 33 aus Fig. 1 eingespart werden kann. Dafür erfolgt die Belastung des Bremswiderstandes 32 impulsweise nur dann, wenn der IGBT 38' durchgesteuert ist. Bei der Schaltung nach Fig. 1 dagegen wird in dem Bremswiderstand 32 ständig elektrische Leistung in Wärme umgesetzt.

Dementsprechend unterscheidet sich der Bremswiderstand bei der Schaltung nach Fig. 1 in seiner Größe von dem Bremswiderstand der Schaltung nach Fig. 2 insofern, als der Wert des Bremswiderstandes bei der Schaltung nach Fig. 2 deutlich kleiner ist als der Wert des Widerstandes nach Fig. 1. Bei dieser Schaltung wird der Widerstandswert ausgewählt nach der Bremscharakteristik unmittelbar nach dem Umschalten in den Bremsbetrieb. Wenn zunächst eine reine Widerstandsbremsung gewünscht ist, wird der Wert des Bremswiderstandes 32 so bemessen, daß der entstehende Bremsstrom größer ist als der Bremsstrom im späteren Verlauf. Soll dagegen von Anfang an mit getakteter Bremsung gearbeitet werden, wird der Wert des Bremswiderstandes 32 größer gewählt, damit von Anfang an ein periodisches Ein- und Ausschalten des MOS-FET 38 erreicht werden kann.

Bei der Schaltung nach Fig. 2 muß dagegen der Wert des Bremswiderstandes 32 so bemessen sein, daß auch gegen Ende der Bremsung ein Erregerstrom fließen kann, der größer ist als der Nennstrom, d. h. jener Strom, der an dem Stromfühlerwiderstand 34 einen Spannungsabfall erzeugt, der größer ist als die Referenzspannung 53. Danach liegt eine reine Widerstandsbremsung vor, die nicht Zweck der Schaltung ist.

Außerdem ist aus den Figuren zu erkennen, daß als Stellglied nicht nur die gezeigten Transistortypen verwendet werden können, sondern ohne weiteres auch bipolare Transistoren mit der üblichen nicht isolierten Basis, oder GTO's, also abschaltbare Thyristoren. Alle diese Typen sind in beiden Schaltungen verwendbar.

Fig. 3 zeigt schließlich analog des Ausführungsbeispiels aus Fig. 2 die Möglichkeit, als Bremswiderstand einen Vorwiderstand zu verwenden, der zur Anlaufstrombegrenzung beim Einschalten des Motorbetriebs vorgesehen ist. Hierzu ist der Umschalter 12 um einen weiteren Arbeitskontakt 61 erweitert, der verzögert einschaltet. Der Bremswiderstand 32 liegt nun in der Verbindung von dem beweglichen Kontakt 18 zu der Leitung 23. Außerdem ist der Kondensator 37 mit sei-

nem nach Fig. 2 an dem Ruhekontakt 14 angeschlossenen Ende nunmehr ebenfalls an die Leitung 23 angeschlossen. Schließlich liegt noch in der Leitung 36 zwischen dem Arbeitskontakt 15 und der Schaltungsmasse 35 eine Diode 62. Die Diode 62 verhindert im Motorbetrieb eine Wechsellspannung an dem Kondensator 37. Bei dem gewählten Ausführungsbeispiel liegt deswegen die Diode 62 mit ihrer Anode an der Schaltungsmasse, während die Kathode an dem Arbeitskontakt 15 angeschlossen ist.

Beim Einschalten des Motorbetriebs wird der Umschalter 12 aus der in Fig. 3 gezeigten Ruhestellung in die Arbeitsstellung gebracht. Es liegt dann in der Stromzuleitung zu der Feldwicklung 6 der Bremswiderstand 32, der zunächst den Strom begrenzt. Unmittelbar nach dem Umschalten des Umschalters 12 bleibt nämlich zunächst der Arbeitskontakt 61 geöffnet. Erst nach einer vorbestimmten Zeit schließt sich auch der verzögerte Arbeitskontakt 61, der zu dem Bremswiderstand 32 und dem Arbeitskontakt 16 parallelgeschaltet ist. Dadurch wird der Bremswiderstand 32 im Motorbetrieb kurzgeschlossen und es kann aus den Netzanschlußklemmen 9 und 11 der volle Strom durch den Motor 1 fließen.

Nach der Rückkehr des Umschalters 12 in die in Fig. 3 gezeigte Ruhestellung, der auch der verzögerte Arbeitskontakt 61 unmittelbar folgt, liegen dieselben Schaltverhältnisse vor wie bei dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 2. Das dort Gesagte gilt entsprechend folglich auch für Fig. 3.

Fig. 4 zeigt im einzelnen, wie die Schaltungsblöcke der pulsbreitenmodulierten Steuerschaltung 42 realisiert werden können. Der Oszillator 43 besteht aus einem NAND-Glied 63 mit Schmitt-Trigger-Charakteristik, das von seinem Ausgang, der gleichzeitig den vorerwähnten Ausgang 44 des Oszillators 43 bildet, über einen Festwiderstand 64 zu seinen beiden parallelgeschalteten Eingängen rückgekoppelt ist. Die beiden Eingänge des NAND-Gliedes 63 sind außerdem über einen Kondensator 65 mit der Schaltungsmasse 35 verbunden.

Eine solche Schaltung beginnt bekanntlich, sobald die Versorgungsspannung angelegt ist, selbsttätig zu schwingen und erzeugt an dem Ausgang 44 ein etwa symmetrisches Rechtecksignal. Dieses Rechtecksignal gelangt in den nachfolgenden Differenzierer 45. Dieser besteht aus einem an den Ausgang 44 angeschlossenen Koppelkondensator 66, dessen andere Elektrode über einen "Pull-up"-Widerstand 67 mit der positiven Versorgungsspannung verbunden ist. Die Verbindungsstelle zwischen dem Koppel-Kondensator 66 und dem "Pull-up"-Widerstand 67 ist der vorerwähnte Ausgang 46 des Differenzierers 45.

Das Flipflop 47 ist in der bekannten Weise aus zwei über Kreuz gekoppelten NAND-Gliedern 68 und 69 aufgebaut, wobei einer der Eingänge des NAND-Gliedes 68 den S-Eingang bildet, der an dem Ausgang 46 angeschlossen ist. Einer der Eingänge des NAND-Gliedes 69 dagegen bildet den R-Eingang, der mit dem Ausgang des Komparators 52 verbunden ist. Im Fall, daß der Ausgang ein sogenannter "Open Collector"-Ausgang ist, wird noch ein in Fig. 4 gezeigter "Pull-up"-Widerstand 71 benötigt, der von der Leitung 58 zur positiven Versorgungsspannung führt.

Der Ausgang des NAND-Gliedes 69 ist schließlich der bereits erwähnte Q-Ausgang, an den der Eingang des Leistungstreibers 49 angeschlossen ist, dessen invertierender Ausgang über einen Schutzwiderstand 72 zu der Leitung 41 führt.

Fig. 5 zeigt schließlich das Schaltbild der Spannungs-

versorgungsschaltung 54, die aus der von dem Anker 3 abgegebenen EMK die zur Versorgung der pulsbreitenmodulierten Steuerschaltung 42 erforderliche stabilisierte Spannung erzeugt. Es ist die Aufgabe der Spannungsversorgungsschaltung 54, diese Spannung innerhalb wenigstens einer Zehnerpotenz der EMK auf den erforderlichen Wert zu bringen und zu stabilisieren. Wie Fig. 5 zeigt, enthält die Spannungsversorgungsschaltung 54 einen mit seiner Drain-Elektrode an die Leitung 56 angeschalteten selbstleitenden MOS-FET 74, der mit seiner Source-Elektrode an die Basis eines bipolaren Transistors 75 angeschlossen ist. Der bipolare Transistor 75 liegt mit seinem Kollektor ebenfalls an der Leitung 56, während der Emitter über einen Gegenkopplungswiderstand 76 zu der Leitung 55 hin verbunden ist. Die Spannung an der Leitung 55 wird außerdem mit Hilfe eines Siebkondensators 78 geglättet, der zwischen der Leitung 55 und der Schaltungsmasse 35 eingefügt ist.

Die negative Gate-Vorspannung für den MOS-FET 74 wird mit Hilfe eines Widerstandes 79, der das Gate des MOS-FET 74 mit der Leitung 55 verbindet, sowie des Gegenkopplungswiderstandes 76 und der Basis-/Emitterspannung des Transistors 75 erzeugt.

Um die Ausgangsspannung zu erhöhen, ist eine Z-Diode 81 vorhanden, die von der Gate-Elektrode des MOS-FET 74 des Typs BSS 135 zu der Schaltungsmasse 35 führt.

Patentansprüche

1. Schaltungsanordnung (2) zum Bremsen eines dem Antrieb eines handgeführten Elektrogerätes dienenden Kollektormotors (1), der einen Anker (3) sowie eine geteilte oder ungeteilte Feldwicklung (6) aufweist,

— mit einem Umschalter (12), durch den in einer Stellung die Feldwicklung (6) für den Motorbetrieb mit einer Polarität an den Anker (3) anzuschalten ist und durch den in einer anderen Stellung im Bremsbetrieb eine Serienschaltung erzeugt wird, die wenigstens den Anker (3) und zumindest einen Teil der Feldwicklung (6) enthält, der mit der anderen Polarität an den Anker (3) angeschlossen ist als im Motorbetrieb,

— mit einem Stellglied (38'),
— mit einer Steuerschaltung (42) für das Stellglied (38'), die wenigstens in einem Zeitintervall während des Bremsbetriebes ein impulsförmiges Signal an das Stellglied (38') abgibt, das durch das Signal ständig zwischen den Zuständen Leiten und Sperren hin- und hergeschaltet wird,

— sowie mit einer Speicherschaltung (25), die nach dem Umschalten des Umschalters (12) in den Bremsbetrieb eine Selbsterregung des als Generator arbeitenden Kollektormotors (1) einleitet,

wobei der Stromzweig mit dem Stellglied (38') zusätzlich einen zu dem Stellglied (38') in Serie geschalteten ohmschen Bremswiderstand (32) enthält und diesem Stromzweig ein Kondensator (37) parallelgeschaltet ist.

2. Schaltungsanordnung (2) zum Bremsen eines dem Antrieb eines handgeführten Elektrogerätes dienenden Kollektormotors (1), der einen Anker (3) sowie eine geteilte oder ungeteilte Feldwicklung (6)

aufweist,

— mit einem Umschalter (12), durch den in einer Stellung die Feldwicklung (6) für den Motorbetrieb mit einer Polarität an den Anker (3) anzuschalten ist und durch den in einer anderen Stellung im Bremsbetrieb eine Serienschaltung erzeugt wird, die wenigstens den Anker (3) und zumindest einen Teil der Feldwicklung (6) enthält, der mit der anderen Polarität an den Anker (3) angeschlossen ist als im Motorbetrieb,

— mit einem Stellglied (38),

— mit einer Steuerschaltung (42) für das Stellglied (38), die wenigstens in einem Zeitintervall während des Bremsbetriebes ein impulsförmiges Signal an das Stellglied (38) abgibt, das durch das Signal ständig zwischen den Zuständen Leiten und Sperren hin- und hergeschaltet wird,

— sowie mit einer Speicherschaltung (25), die nach dem Umschalten des Umschalters (12) in den Bremsbetrieb eine Selbsterregung des als Generator arbeitenden Motors einleitet, wobei zu dem Stromzweig mit dem Stellglied (38) zusätzlich ein ohmscher Bremswiderstand (32) parallelgeschaltet ist.

3. Schaltungsanordnung nach Anspruch 2, wobei mit dem ohmschen Bremswiderstand eine Diode (33) in Serie liegt.

4. Schaltungsanordnung nach Anspruch 2, wobei zu dem ohmschen Bremswiderstand ein Kondensator (37) parallelgeschaltet ist.

5. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Stellglied (38, 38') von einem abschaltbaren Halbleiter gebildet ist.

6. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das impulsförmige Signal für das Stellglied (38, 38') ein pulsbreitenmoduliertes Signal ist.

7. Schaltungsanordnung nach Anspruch 6, wobei die Periodendauer des pulsbreitenmodulierten Signals konstant ist.

8. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Einschaltdauer des pulsbreitenmodulierten Signals konstant ist.

9. Schaltungsanordnung nach Anspruch 6, wobei die Steuerschaltung (42) einen Oszillator (43) enthält, der die Periodendauer des pulsbreitenmodulierten Signals festlegt.

10. Schaltungsanordnung nach Anspruch 9, wobei der Oszillator (43) ausgangsseitig mit einer digitalen Speicherschaltung (47) verbunden ist, die von dem Oszillator (43) in einen ihrer beiden möglichen Zustände zu überführen ist, ein mit einem Stromfühler (34) verbundener Komparator (52) vorhanden ist, durch den die digitale Speicherschaltung (47) in den anderen ihrer beiden möglichen Zustände zu überführen ist, wenn der Strom durch das Stellglied (38, 38') einen festgelegten Grenzwert übersteigt, und das Ausgangssignal der digitalen Speicherschaltung (47) das Steuersignal für das Stellglied (38, 38') bildet.

11. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Schaltungsanordnung (2) netzunabhängig ist.

12. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Speicherschaltung (25) einen elektrischen Speicher (26) enthält, der während des Motorbetriebes aus dem Netz geladen wird.

13. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2,
wobei der Steuerschaltung (42) eine Spannungsver-
sorgungsschaltung (54) zugeordnet ist, deren Ein-
gangsspannung mittelbar oder unmittelbar die
Spannung ist, die der im Generatorbetrieb arbei- 5
tende Kollektormotor (1) abgibt.

14. Schaltungsanordnung nach Anspruch 1 oder 2,
wobei dem Kollektormotor (1) ein den Anlaufs-
trom begrenzender Vorwiderstand zugeordnet ist
und daß dieser Vorwiderstand im Bremsbetrieb 10
den ohmschen Bremswiderstand (32) bildet.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

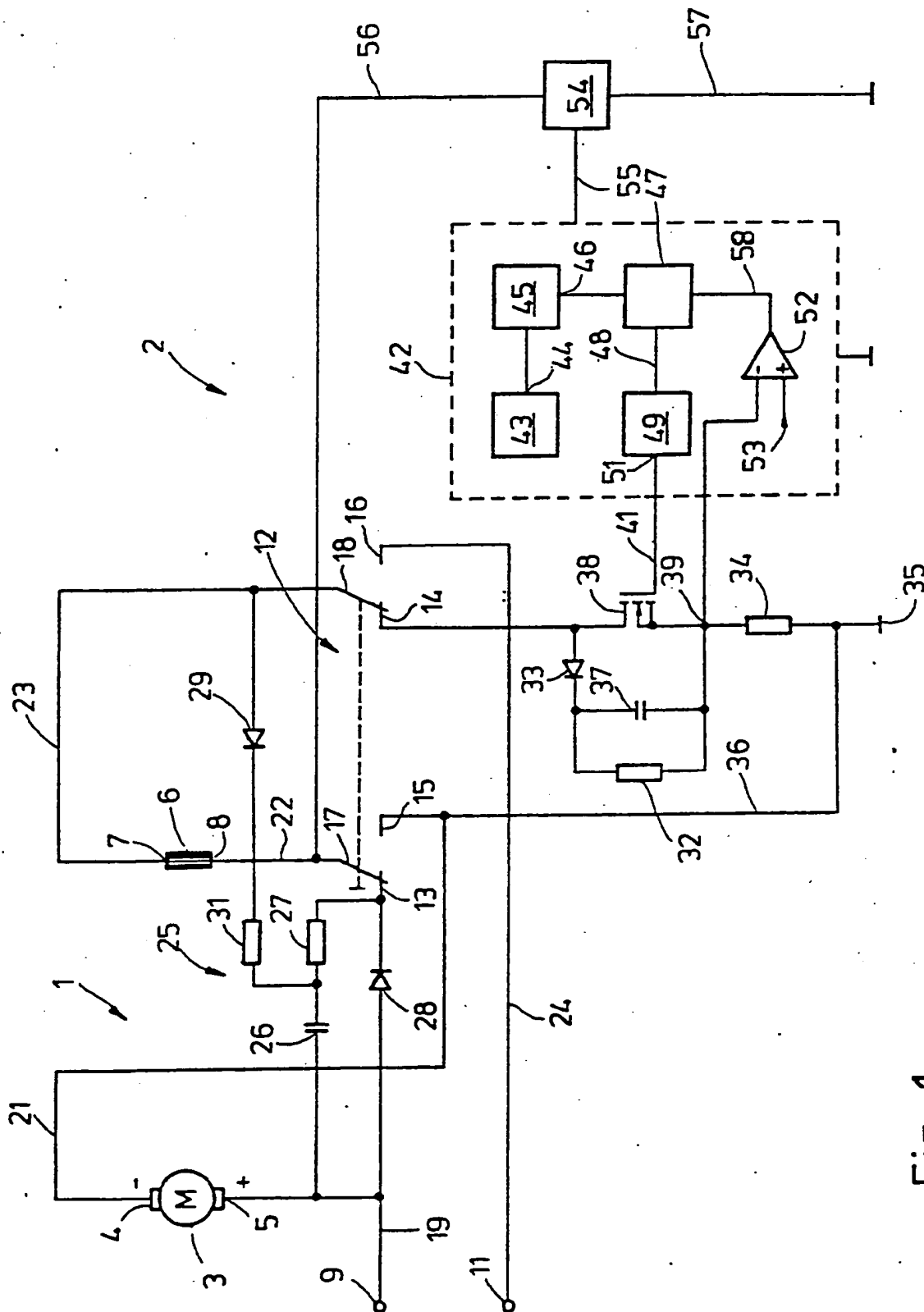


Fig. 1

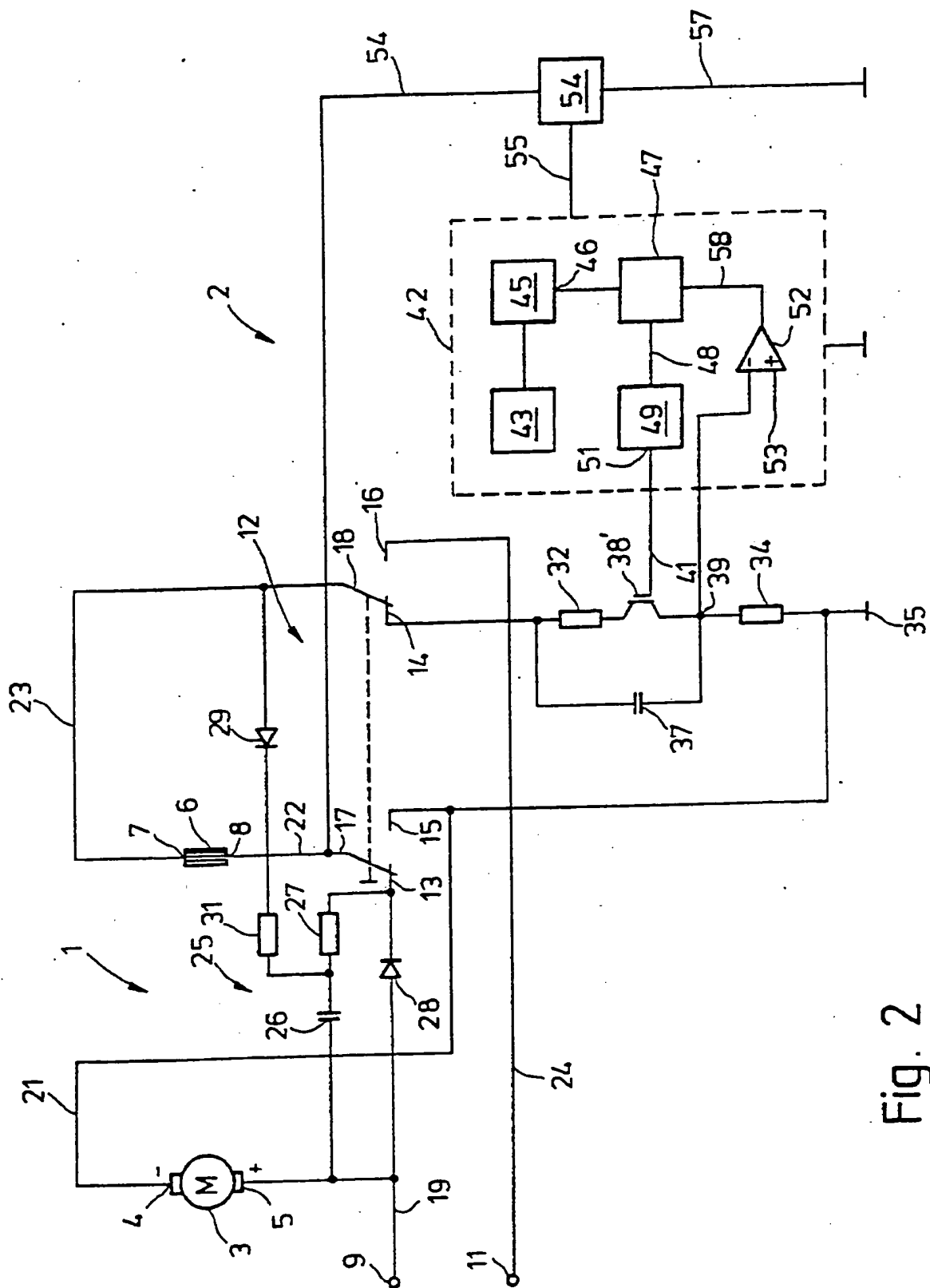


Fig. 2

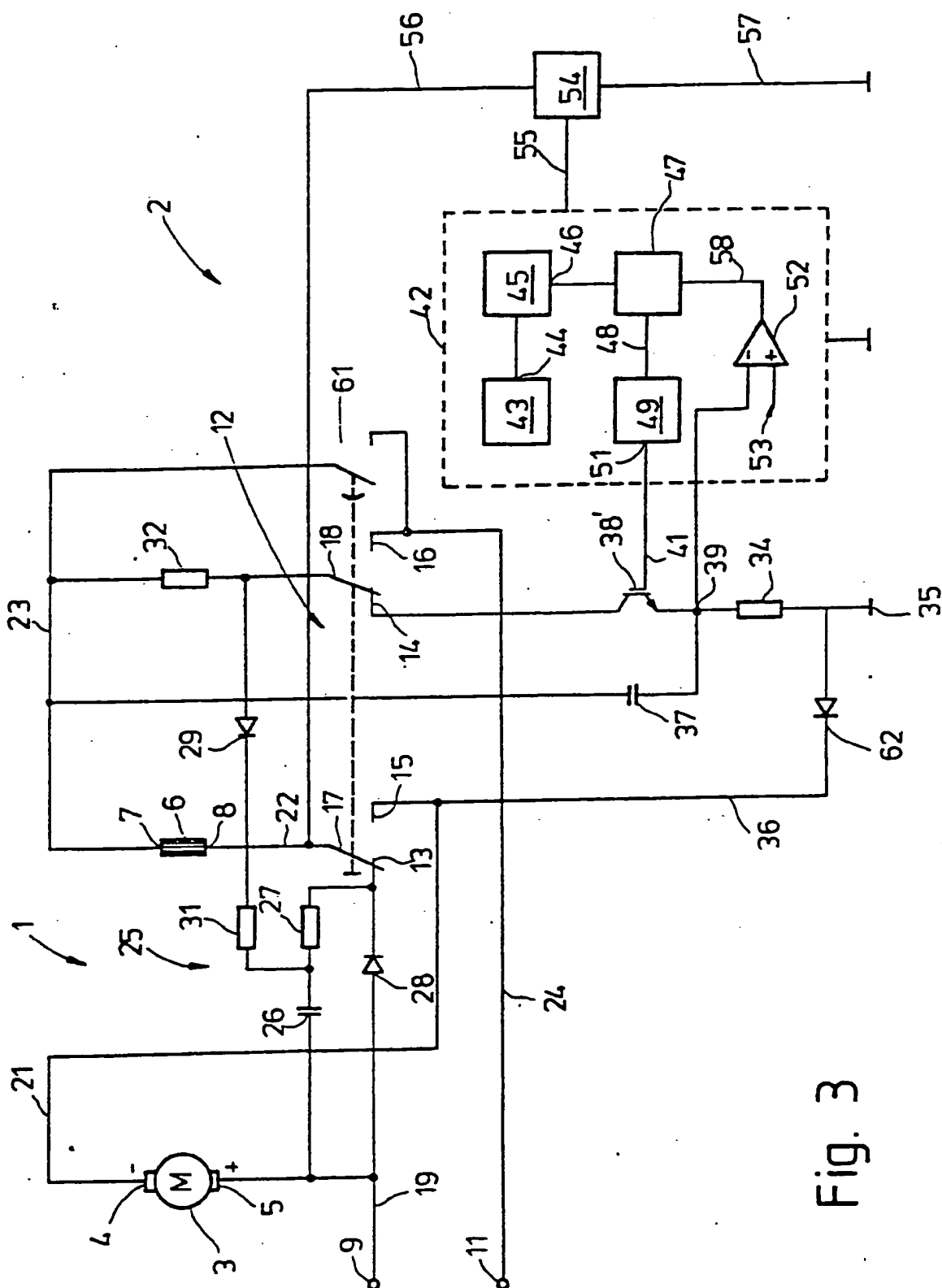


Fig. 3

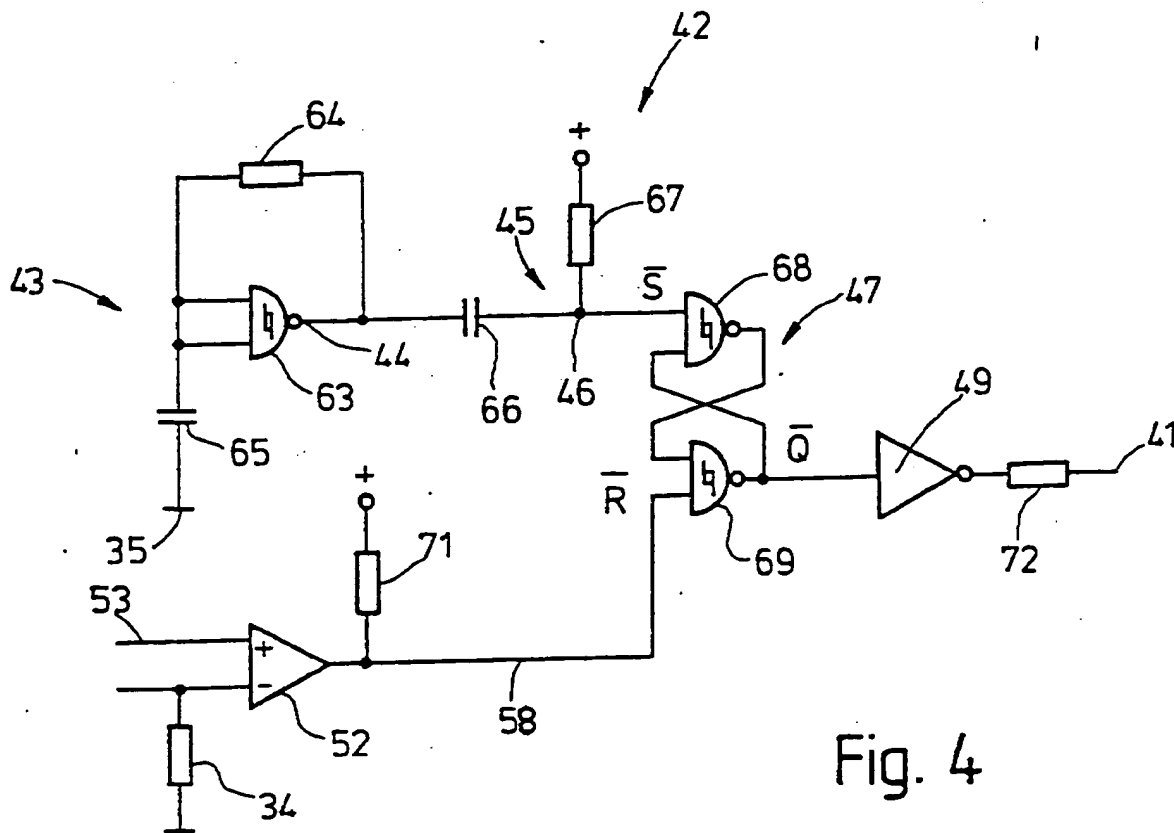


Fig. 4

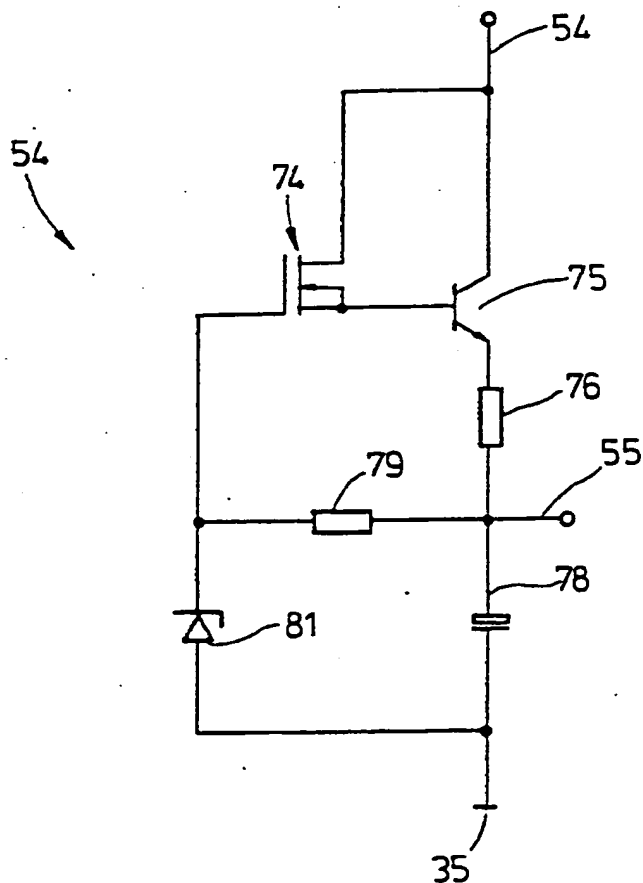


Fig. 5